

О. В. Фомін /д. т. н./, В. М. Іщенко /к. т. н./

Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ, Україна

Д. В. Федосов-Ніконов

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагобудування», м. Кременчук, Україна

Довгобазні платформи. Проблеми міцності конструкції

О. V. Fomin /Dr. Sci. (Tech.),
V. M. Ishchenko /Cand. Sci. (Tech.)/
D. V. Fedosov-Nikonov

State University of Infrastructure and Technology,
Kyiv, Ukraine
State Enterprise «Ukrainian Research Institute of
Wagon Building», Kremenchuk, Ukraine

Long-term platform. Problems of details of the construction

Мета. У статті подано особливості розгляду питань щодо перевірки міцності конструкції довгобазних платформ, застосування теоретичного і експериментального методів їх дослідження.

Методика. Як методику проведення досліджень використано стандартні процедури аналізу та сучасні підходи експериментальних випробувань рухомого состава залізниць.

Результати. Після вдосконалення конструкції рам вагона-платформи експериментально підтверджено її відповідність вимогам за I, III і ремонтним режимами навантажень та на співудар. Розрахункові та експериментальні напруження у всіх елементах довгобазного вагона-платформи від усіх експлуатаційних навантажень не перевищують допустимих значень. Збіжність результатів розрахунків і випробувань задовільна.

Наукова новизна. Як наукову новизну можна виділити створене наукове обґрунтування комплексу технічних рішень з поліпшення міцнісних якостей конструкцій довгобазних вагонів-платформ та експериментальне підтвердження їх ефективності.

Практична значущість. Практичну цінність роботи становлять розроблені комп'ютерні скінчено-елементні моделі та результати випробувань. Такі результати можуть бути використані при проведенні подальших робіт з проектування нових та удосконалення існуючих моделей вагонів-платформ. (Іл. 10. Табл. 3. Бібліогр.: 11 назв.)

Ключові слова: довгобазні платформи, міцність елементів, коефіцієнт запасу опору втоми, розрахункові та експериментальні напруження.

Постановка проблеми. На сьогодні проблема підвищення економічної ефективності створення і експлуатації вантажних вагонів (як вагомої частини матеріально-технічної бази залізниць) є актуальною та важливою, тому що при ринкових відносинах високий рівень економічної ефективності залізничного транспорту стає однією з ключових умов благополуччя та нормального розвитку країни. Сказане особливо гостро стосується України як машинобудівної держави з потужною металургією зі значними обсягами вантажообігу та суттєвим потенціалом їх нарощування. При цьому досконалість конструкцій вантажних вагонів безпосередньо впливає на ефективність роботи металургійної галузі. Так, рівень техніко-економічних показників вагонів формує обсяг витрат при транспортуванні сировини та готової продукції металургійних підприємств. До того ж вантажний вагон є кінцевим продуктом виробничого ланцюга, на побудову кожного з

яких витрачається приблизно 30 т сталевих виробів. Тому не важко порахувати необхідні суттєві обсяги закупівель прокату та литих деталей на оновлення 170-тисячного українського парку вантажних вагонів, який зношений на понад 80 %.

Одним з поширених типів вантажних вагонів є вагони-платформи, які призначені для перевезення широкої номенклатури вантажів, у тому числі металургійного виробництва.

Недостатня міцність конструкції довгобазної платформ потребує доопрацювання елементів конструкції із застосуванням спеціальних методів як теоретичного, так і експериментального характеру. Визначення методів дослідження динамічних процесів у конструкції довгобазних платформ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми динаміки і міцності рухомого складу розглядалися в працях В. А. Лазаряна, Є. П. Блохіна, М. Б. Кельріха, А. В. Донченка, С. В. Мямліна,

В. М. Бубнова та інших видатних вчених. Однак і сьогодні при розробці нових моделей довгобазних платформ різного конструктивного виконання дослідження міцності елементів довгобазних платформ викликає багато запитань.

Мета статті. Визначення оптимальних методів удосконалення конструкції довгобазної платформи з метою підвищення міцності елементів її конструкції. Для дослідження міцності несучих елементів довгобазних платформ потрібно застосування спеціальних методів як теоретичного, так і експериментального характеру. Один з таких методів дослідження – застосування математичної моделі, що адекватно відображає конструкцію і навантаження, що діють на неї.

З метою задоволення потреб перевізників, розширення номенклатури своєї продукції та зниження собівартості перевезень багато вагонобудівних заводів України, Росії та інших країн СНД розробили й поставили на виробництво безліч моделей довгобазних платформ різного конструктивного виконання. Однак при експлуатації платформ виникли проблеми з міцністю основних несучих елементів конструкції. У багатьох моделях в основних несучих елементах конструкції були виявлені тріщини втомного характеру (рис. 1).

Така ситуація була обумовлена низькою міцністю зазначених одиниць рухомого состава. Аналіз руйнувань і пошкоджень рам довгобазних платформ свідчить, що причиною цього є динамічні навантаження, зумовлені як нерівностями рейкової колії, так і конструктивними особливостями платформ.

Розрахунок елементів рами на втому проводився при дії на платформу максимально допустимих навантажень для перерізів з високим рівнем напружень (рис. 2).

Розрахунок виконано з використанням обчислювального комплексу, що реалізує метод скінченних елементів (МКЕ) на ПЕОМ стандарту IBM-PC, при цьому використовувалася пластинчаста скінченно-елементна модель і скінченні елементи типу SHELL 63. Скінченні елементи мають квадратичні функції форми і шість ступенів свободи



Тріщина в хребтовій балці довгобазного вагона-платформи



Тріщина в хребтовій та шворневій балках довгобазного вагона-платформи

Рис. 1. Тріщини втомного характеру в основних несучих елементах конструкції

в кожному вузлі: переміщення вздовж осей x , y , z і повороти навколо цих осей. Як глобальна система координат при складанні розрахункової схеми була обрана права, декартова система з центром на поздовжній осі вагона в площині нейтральної осі лобової балки.

Вісь X системи координат спрямована уздовж поздовжньої осі вагона, вісь Y – вертикально вгору. Навантаження власною вагою проводилося шляхом задання щільності матеріалу моделі з подальшим докладанням до кожного вузла розрахункової схеми прискорення $9,81 \text{ м/с}^2$ уздовж вертикальної осі Y . Розрахункову схему наведено на рис. 3.

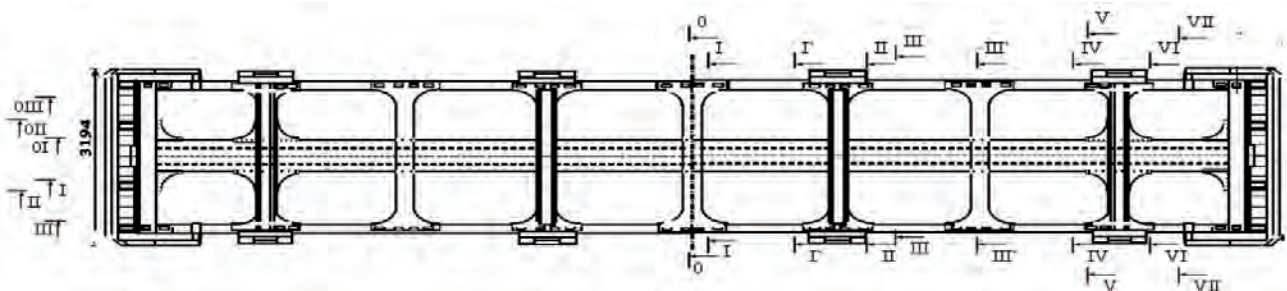


Рис. 2. Схема розташування перерізів з максимальними напруженнями на універсальній довгобазній платформі

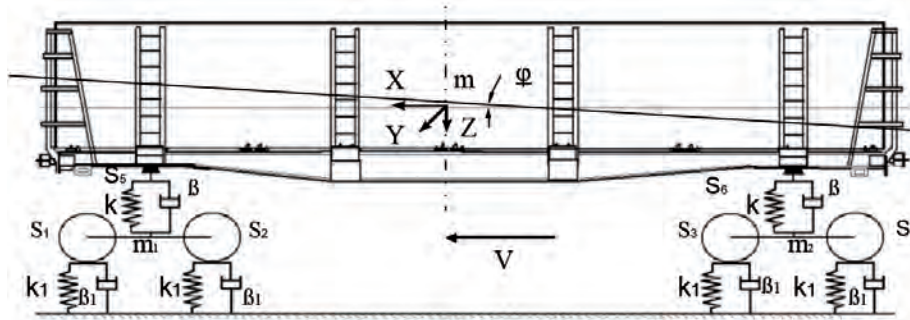


Рис. 3. Розрахункова схема платформи

Оцінка втомної міцності проводилася за коефіцієнтом запасу опору втоми за формулою [1]:

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,\varepsilon}} \geq [n], \quad (1)$$

де $\sigma_{a,N}$ – межа витривалості (по амплітуді) для контрольної зони при симетричному циклі і сталому режимі навантаження при базовому числі циклів $N_0 = 10^7$; $\sigma_{a,\varepsilon}$ – величина амплітуди динамічного напруження умовного симетричного циклу, приведена до базового числа циклів N_0 , еквівалентна пошкоджуючій дії реального режиму експлуатаційних напружень за розрахунковий термін служби; $[n]$ – мінімально допустимий коефіцієнт запасу опору втоми за обраний термін служби.

Статичні напруги від сили ваги бруто вагона були отримані із застосуванням методу скінченних елементів.

Розрахунок проводився для двох варіантів завантаження, за яких розрахунковими дослідженнями було отримано найбільші згинальні моменти (рис. 4 та 5).

Напружено-деформований стан вагона від дії статичного вертикального навантаження (брутто) наведено на рис. 6.

Результати розрахунку коефіцієнта запасу опору втоми при завантаженні платформи двома 40-футовими контейнерами наведено в табл. 1.

Як видно з табл. 1, коефіцієнт запасу опору втоми елементів рами платформи, завантаженої двома 40-футовими контейнерами, нижче допустимого значення $[n] = 1,5$. Це підтверджується результатами стендових випробувань. Руїнування були виявлені в двох зонах. У перерізі I-I, в зоні закінчення накладки і в перерізі III-III хребтової балки на прорізи для горизонтального важеля автогальма. Напружено-деформований стан цих

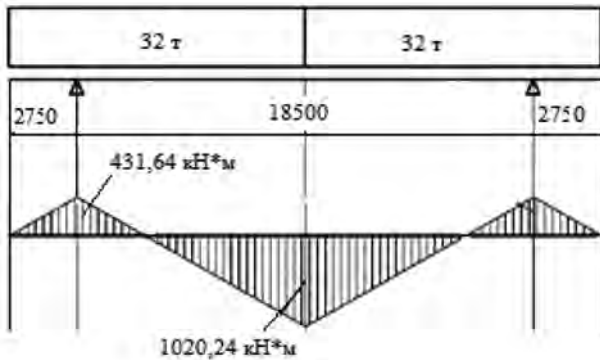


Рис. 4. Два 40-футових контейнери

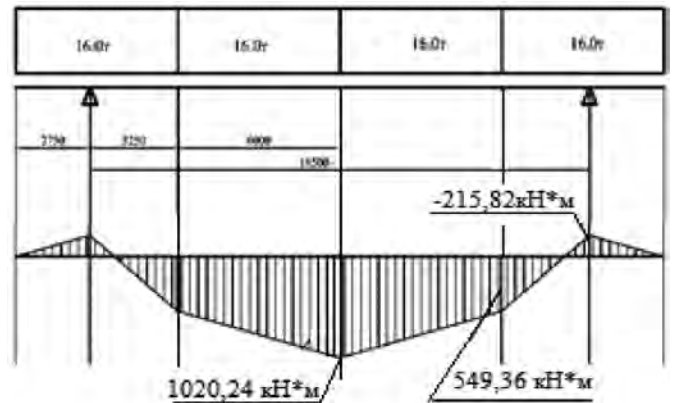


Рис. 5. Чотири 20-футових контейнери

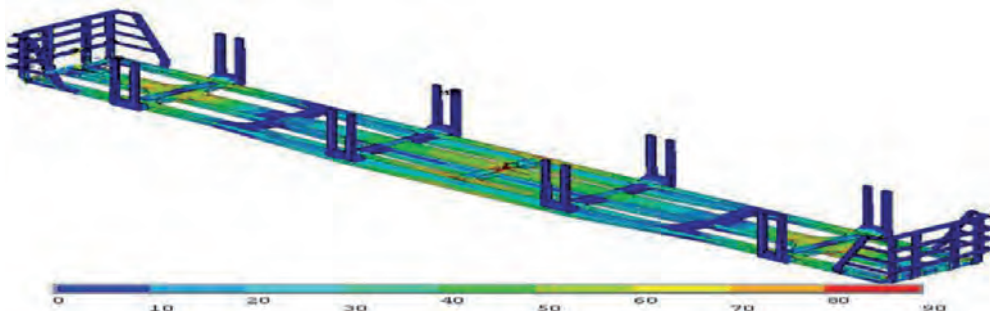


Рис. 6. Напруження від дії статичного вертикального навантаження 2 40-футових контейнерів

Коефіцієнт запасу опору втомі при завантаженні двома 40-футовими контейнерами

Елемент	Переріз	Точка	№ вузла моделі	Результати розрахунків				
				$\sigma_{ст}$	$\sigma_{аэ}$	$(\bar{k}_{\sigma})_k$	$\sigma_{аН}$	n
Хребтова балка	I-I	т.1	6948	83,2	46,38	4,5	41,293	0,89
Хребтова балка	I-I	т.3	43015	93,4	52,06	4,0	46,455	0,89
Хребтова балка	I-I	т.4	40158	83,4	46,49	4,5	41,293	0,89
Хребтова балка	III-III	т.5	39428	86,8	48,39	4,5	41,293	0,85
Хребтова балка	III-III	т.6	6179	87,4	48,72	4,5	41,293	0,85
Хребтова балка	V-V	т.7	39523	65,4	36,45	3,0	61,940	1,70
Хребтова балка	V-V	т.8	6274	65,8	36,68	3,0	61,940	1,69
Хребтова балка	VI-VI	т.9	48292	10,1	5,631	3,0	61,940	11,00
Хребтова балка	VI-VI	т.10	15179	10	5,575	3,0	61,940	11,11
Шворнева балка	I-I	т.21	22937	58,9	32,83	4,0	46,455	1,41
Шворнева балка	I-I	т.17	10504	29,5	16,44	4,5	41,293	2,51
Шворнева балка	I-I	т.19	22893	28,4	15,83	4,5	41,293	2,61
Шворнева балка	0I-0I	т.22	56272	58,9	32,83	4,5	41,293	1,26
Шворнева балка	0I-0I	т.18	43684	29,5	16,44	4,5	41,293	2,51
Шворнева балка	0I-0I	т.20	56228	28,5	15,88	4,5	41,293	2,60
Балка бокова	0-0	т.23	23455	98,8	55,07	4,0	46,455	0,84
Балка бокова	0-0	т.24	504	68,8	38,35	4,0	46,455	1,21
Балка бокова	I'-I'	т.27	90821	93,3	52,01	4,5	41,293	0,79
Балка бокова	I'-I'	т.28	94116	91,1	50,78	4,5	41,293	0,81
Балка бокова	I'-I'	т.30	126001	91,1	50,78	4,5	41,293	0,81
Балка бокова	I'-I'	т.29	122580	93,3	52,01	4,5	41,293	0,79
Балка бокова	II-II	т.31	59382	111,2	61,99	4,0	46,455	0,75
Балка бокова	II-II	т.32	26006	111,4	62,10	4,0	46,455	0,75
Балка бокова	III'-III'	т.33	66644	76,3	42,53	4,5	41,293	0,97
Балка бокова	III'-III'	т.35	52273	2,9	1,617	4,5	41,293	25,54
Балка бокова	III'-III'	т.34	33092	76,1	42,42	4,5	41,293	0,97
Балка бокова	III'-III'	т.36	23918	93,1	51,90	4,5	41,293	0,80
Балка бокова	IV-IV	т.34	410	69,6	38,80	4,0	46,455	1,20
Балка бокова	V-V	т.35	66121	56,6	31,55	4,0	46,455	1,47
Балка бокова	V-V	т.36	32578	56,5	31,49	4,0	46,455	1,47
Балка бокова	VI-VI	т.37	60111	6,9	3,847	4,0	46,455	12,08
Балка бокова	VI-VI	т.38	26732	6,9	3,847	4,0	46,455	12,08
Балка бокова	VII-VII	т.39	58800	0,9	0,502	4,0	46,455	92,59
Балка бокова	VII-VII	т.40	1661	3,5	1,951	4,0	46,455	23,81

зон при завантаженні двома 40-футовими контейнерами показано на рис. 7 і 8.

Результати розрахунку коефіцієнта запасу опору втомі у цих зонах наведено в табл. 2.

Як впливає з табл. 2, значення коефіцієнта запасу опору втомі нижче допустимого [n] = 1,5. Отже, ці зони потребують посилення. Для зони руйнування в перерізі I-I було запропоновано виключити накладку на нижньому поясі, що дозволило видалити концентратор біля шва і знизити коефіцієнт концентрації $(\bar{k}_{\sigma})_k$ с 5,0 до 2,5.

Для зони руйнування по вікну, в перерізі III-III, пропонується перенести стиковий шов підсилюючого обода в зону з більш низькими напруженнями, що дозволить знизити рівень напруження з 66,1 МПа до 5,1 МПа. Напружено-деформований стан зазначених зон після конструктивних змін показано на рис. 9 і 10, а результати розрахунку наведені в табл. 3.

Як видно з табл. 3, втомна міцність рами забезпечується на весь термін експлуатації для схем навантаження чотирма 20-футовими і двома 40-футовими контейнерами.

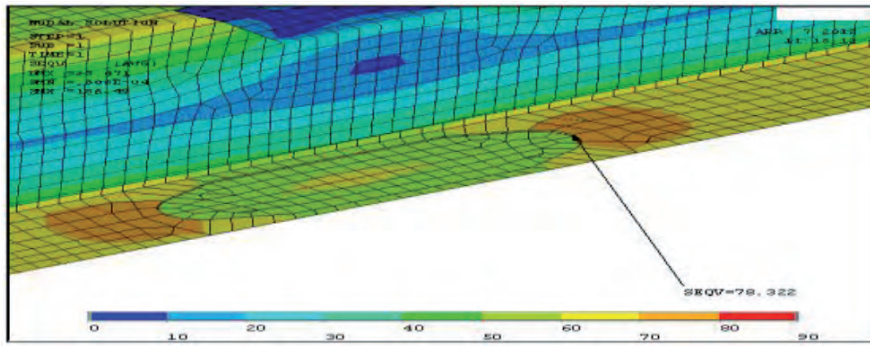


Рис. 7. Напружено-деформований стан у зоні шва накладки в центрі бічної балки до пропонованого доопрацювання

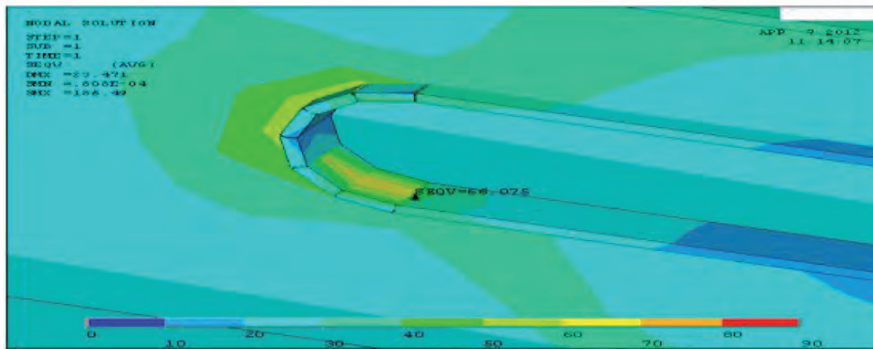


Рис. 8. Напружено-деформований стан у зоні вікна горизонтального важеля хребтової балки до пропонованого доопрацювання

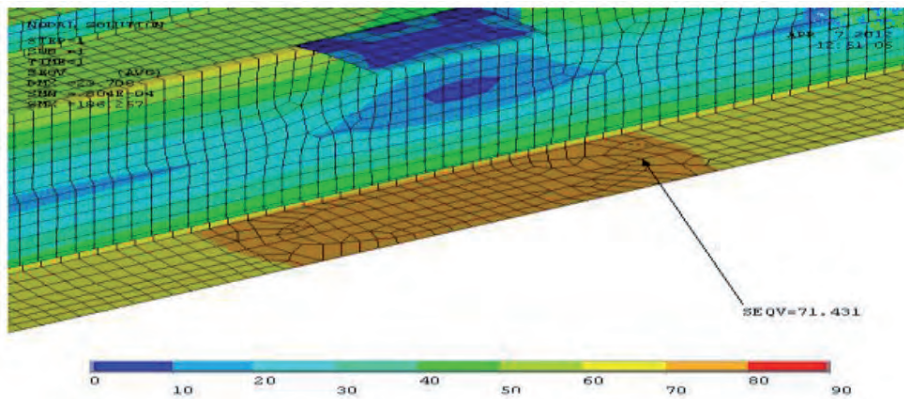


Рис. 9. Напружено-деформований стан в зоні шва накладки в центрі бічної балки після пропонованого доопрацювання

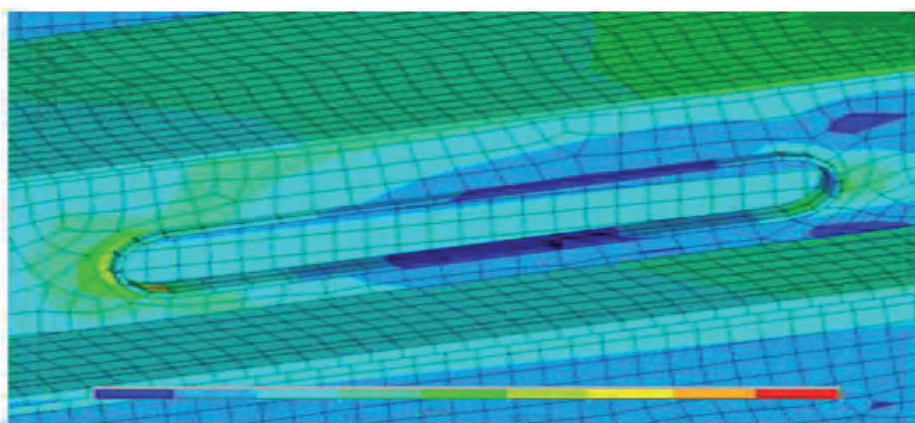


Рис. 10. Напружено-деформований стан у зоні вікна горизонтального важеля хребтової балки після пропонованого доопрацювання

Коефициент запаса опоры в томи в зонах руйнувань при завантаженні двома 40-футовими контейнерами

Елемент	Переріз	№ вузла моделі	Результати розрахунків				
			$\sigma_{ст}$	$\sigma_{aЭ}$	$(\bar{k}_{\sigma})_k$	σ_{aN}	n
Бокова балка	I-I	34553	66,1	27,3	5,0	37,2	1,36
Хребтова балка	III-III	64578	78,3	32,3	5,0	37,2	1,15

Коефициент запаса опоры в томи в зонах руйнувань після доопрацювання, завантаження 40-футовими контейнерами

Елемент	Переріз	№ вузла моделі	Результати розрахунків				
			$\sigma_{ст}$	$\sigma_{aЭ}$	$(\bar{k}_{\sigma})_k$	σ_{aN}	n
Бокова балка	I-I	34553	71,4	2,1	2,5	37,2	17,67
Хребтова балка	III-III	64578	5,1	29,5	1,6	116,1	3,94

Висновок. Після вдосконалення конструкції рами проведено розрахунок на відповідність платформи вимогам за I, III і ремонтним режимами навантажень та на співудар.

Розрахункові та експериментальні напруження у всіх елементах довгобазного вагона-платформи від усіх експлуатаційних навантажень не перевищують допустимих значень. Збіжність результатів розрахунків і випробувань задовільна, що свідчить про правильність проведених розрахунків.

Підвищення ефективності функціонування вагонів-платформ дозволить скоротити залізничні транспортні витрати на перевезення продуктів металургійного виробництва. Також сказане дозволить підвищити обсяги будівництва нових вагонів такого типу і тим самим збільшити пакет замовлень різного виду прокату та литих складових металургійного виробництва.

Бібліографічний список / References

1. Kelrykh, M. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas / M. Kelrykh, O. Fomin // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – No. 6. – P. 64–67.
2. Годыцкий-Цвирко А. М. Взаимодействие пути и подвижного состава железных дорог / А. М. Годыцкий-Цвирко. – М.: Гострансиздат, 1931. – 214 с.
3. Godytskiy-Tsvirko A. M. Vzaimodeystvie puti i podvizhnogo sostava zheleznykh dorog. Moscow, Gostransizdat, 1931, 214 p.
4. Fomin, O. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model / O. V. Fomin / Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – No. 1. – P. 45–48.
5. Винокуров М. В. Исследование колебаний и устойчивости вагонов / М. В. Винокуров // Научн. тр. ДИИТ. – 1989. – Вып. 12. – 292 с.

Vinokurov M. V. *Issledovanie kolebaniy i ustoychivosti vagonov*. Nauchn. tr. DIIT. 1989, issue 12, 292 p.

5. Лазарян. В. А. Динамика вагонов / В. А. Лазарян. – М.: Транспорт, 1964. – 256 с.

Lazaryan. V. A. *Dinamika vagonov*. Moscow, Transport, 1964, 256 p.

6. Fomin O. Development and application of cataloging in structural design of freight car building / O. Fomin, O. V. Burlutsky, Yu. V. Fomina // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – No. 2. – P. 250–256.

7. Вершинский С. В. Динамика вагона / С. В. Вершинский // Технический справочник железнодорожника. – М.: Трансжелдориздат, 1952. – Т. 6. – С. 651–712.

Vershinskiy S. V. *Dinamika vagona*. Tekhnicheskii spravochnik zheleznodoozhnika. Moscow, Transzheldorizdat, 1952, vol. 6, pp. 651-712.

8. Шапошников Н. Н. Расчет машиностроительных конструкций на прочность и жесткость / Н. Н. Шапошников, Н. Д. Тарабасов, В. В. Петров, В. И. Мяченков. – М.: Машиностроение, 1981. – 333 с.

Shaposhnikov N. N., Tarabasov N. D., Petrov V. V., Myachenkov V. I. *Raschet mashinostroitel'nykh konstruktsiy na prochnost' i zhestkost'*. Moscow, Mashinostroenie, 1981, 333 p.

9. Блохин Е. П. Динамика поезда (нестационарные продольные колебания) / Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин. – М.: Транспорт, 1982. – 222 с.

Blokhin E. P., Manashkin L. A. *Dinamika poezda (nestsionarnnye prodol'nye kolebaniya)*. Moscow, Transport, 1982, 222 p.

10. Блохин Е. П. О возможности понижении порядка системы дифференциальных уравнений движения поезда при возмущениях, распространяющихся вдоль его длины / Е. П. Блохин,

Л. Г. Маслеева // Межвуз сб. науч. тр. – Днепропетровск: ДИИТ, 1978. – Вып. 199/25. – С. 47–54.

Blokhin E. P., Masleeva L. G. *O vozmozhnosti ponizhenii poryadka sistemy differentsial'nykh uravneniy dvizheniya poezda pri vozmushcheniyakh, rasprostranyayushchikhsya vdol' ego dliny.* Mezhvuz sb. nauch. tr. Dnepropetrovsk, DIIT, 1978, issue 199/25, pp. 47-54.

11. Мямлин С. В. Программа моделирования пространственных колебаний подвижного состава / С. В. Мямлин // Залізничний транспорт України. – 2000. – № 3. – С. 52–54.

Myamlin S. V. *Programma modelirovaniya prostranstvennykh kolebaniy podvizhnogo sostava.* Zaliznichniy transport Ukraini. 2000, no. 3, pp. 52-54.

Purpose. The article presents the peculiarities of consideration of issues concerning verification of durability of construction of long-floor platforms, application of theoretical and experimental methods of their research.

Methodology. As a method of conducting research, standard analysis procedures and modern approaches to experimental testing of rolling stock of railways have been used.

Findings. After improving the design of the frames of the car-platform, it has been experimentally confirmed that it meets the requirements for I, III and repair modes of loading and on the co-driver. Estimates and experimental stresses in all elements of the long-wagon platform wagon from all operating loads do not exceed the permissible values. The convergence of the results of calculations and tests is satisfactory.

Originality. As scientific novelty one can distinguish the created scientific substantiation of a complex of technical solutions for improving the strength properties of structures of long-bodied carriages-platforms and experimental confirmation of their efficiency.

Practical value. The practical value of the work is presented by computer finite element models and test results. Such results can be used in further work on designing new and improving existing models of car-platforms.

Key words: long-distance platforms, strength of elements, coefficient of reserve of resistance of fatigue, calculation and experimental stresses.

**Рекомендована к публикации
д. т. н. А. В. Фоминым**

Поступила 20.03.2018

